

УДК 621.3.078

С.Ф. ЖУКОВ (д-р техн.наук, проф.), **А.И. ВАЖИНСКИЙ**

Донецкий национальный технический университет

center@quantum.com.ua

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ
СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
АГЛОМЕРАЦИОННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

The process of automatic control for preparing raw materials for the production of agglomerate and required relation of components and productivity are considered.

Рассматриваемый объект автоматизации – электротехнический комплекс подготовки шихтовых материалов. Основная технологическая задача отделения дозирования – выдача каждого компонента в таком соотношении, которое обеспечивало заданный химический состав шихты, и в таком общем количестве, которое задается отделением спекания. При решении задач оптимизации процесса дозирования необходимо с достаточной точностью определять соотношение шихтовых материалов с учетом их химического состава, влажности, фракции, включенных примесей. В связи с этим, разработка автоматизированного программного средства расчета основных параметров дозирования шихтовых материалов является актуальной. Сложность решения указанной задачи связана не только с колебаниями химического состава и расходов исходных железорудных материалов, но и с текущими изменениями расходов оборотных продуктов. С целью повышения качества агломерата целесообразно разработать аналитико-экспериментальную модель прогнозирования свойств и управления качеством агломерата, учитывающая динамику процесса агломерации и информационных потоков. Для решения поставленной задачи предложена математическая модель дозирования шихтовых материалов учитывающая изменения физико-химических свойств сырья и готового агломерата. Математическая модель базируется на уравнении материального баланса шихты и использует оперативные данные о хим.составе компонентов, заданный химический состав шихты, а также заданную массу шихты.

Сложные производственные процессы характеризуются случайным характером возмущений. Не исключением является и агломерационный процесс, в том числе и такая часть агломерационного процесса, как операции подготовки шихты. Вопросы применения автоматических систем для сложного объекта, которым является шихтовое отделение цеха агломерации связаны с необходимостью наличия точного математического описания. Полное описание шихтового отделения, как объекта автоматизации отсутствует, но в работах А.И. Похвиснева, А.А. Сигова, Е.Ф. Вегмана, Н.В.Федоровского заложены основы для разработки комплексных подходов к решению проблемы получения сырья для доменного процесса, каким является агломерат, заданного качества [1,2]. В связи с тем, что значительное место в производстве агломерата, занимают процессы, связанные с приготовлением шихты, исследованию методики расчета статистических характеристик качества шихты, учитывающей специфику технологической схемы шихтовых отделений, посвящены работы, рассмотренные в [3].

При условии, что шихта состоит из рудной смеси, известняка, коксовой мелочи и добавок: извести и доломита, уравнение материального баланса будет иметь вид:

$$\left[\left(\frac{100 - d_x}{100} \right) X + \left(\frac{100 - d_y}{100} \right) Y + \left(\frac{100 - d_z}{100} \right) Z + \left(\frac{100 - d_m}{100} \right) M \right] - 100 = \frac{1}{9} \left[\left(FeO_{233} - \frac{X * FeO_x}{100} - \frac{Y * FeO_y}{100} - \frac{Z * FeO_z}{100} - \frac{M * FeO_m}{100} \right) \right] \quad (1)$$

– где dx, dy, dz, dM – потери массы компонентов шихты при спекании; X, Y, Z, M – расходы рудной смеси, известняка, топливной смеси и заданный расход добавок; $FeO_{агл.}$ – заданное содержание FeO в агломерате.

Баланс основности:

$$\frac{(CaO + MgO)_x X + (CaO + MgO)_y Y + (CaO + MgO)_z Z + (CaO + MgO)_m M}{(SiO_2 + Al_2O_3)_x X + (SiO_2 + Al_2O_3)_y Y + (SiO_2 + Al_2O_3)_z Z + (SiO_2 + Al_2O_3)_m M} = B \quad (2)$$

– где B – основность агломерата.

CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3 – содержание элементов в компонентах шихты.

Тепловой баланс

$$Q_c + Q_{возд} + Q_{ш} + Q_s + Q_{зж} + Q_{ок} + Q_M = Q_{сир} + Q_{карб} + Q_{дисс} + Q_{агл} + Q_{т.п.}$$

где Q_c – теплота горения твердого топлива в CO и CO₂;

$Q_{возд}$ – теплота просасываемого через слой воздуха;

$Q_{ш}$ – теплота шихты;

Q_s – теплота горения органической серы и сульфидов;

$Q_{зж}$ – теплота зажигания и дополнительного обогрева шихты;

Q_M – теплота минералообразования при агломерации;

$Q_{гир}$ – теплота разложения гидратов и испарения гигроскопической воды;

$Q_{карб}$ – теплота диссоциации карбонатов;

$Q_{дисс}$ – теплота диссоциации оксидов железа при спекании;

$Q_{агл}$ – теплота пирога агломерата;

$Q_{т.п.}$ – тепловые потери.

Предложенная система имеет модульную структуру и состоит из:

- Блока подготовки исходных данных;

- Блока расчета и прогнозирования.

Блок подготовки исходных данных реализует следующие функции:

- Получение по заданному регламенту или при необходимости результатов химанализов с БД химлаборатории;

- Ввод параметров спекания (тепловые потери, температуры компонентов и др.);

- Ввод заданных параметров агломерата (основность, FeO_{звл});

- Ввод дополнительных параметров (расход добавок, воды на увлажнение);

- Приведение уравнений основности, теплового баланса и баланса спекания к линейному виду: $ax + by + cz = d$;

Расчетный блок системы выполняет решение системы линейных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} A1 \cdot X + B1 \cdot Y + C1 \cdot Z = D1 \\ A2 \cdot X + B2 \cdot Y + C2 \cdot Z = D2 \\ A3 \cdot X + B3 \cdot Y + C3 \cdot Z = D3 \end{array} \right. \quad (3)$$

где X – расход железорудной смеси;

Y – расход известняка;

Z – расход топлива;

M – расход добавок;

D1 – материальный баланс;

D2 – баланс основности;

D3 – тепловой баланс.

Система представляет собой двухуровневую систему, на верхнем уровне выполняется расчет массовых долей компонентов шихты, которые подаются на нижний уровень – локальные системы регулирования компонентов.

$$A_1 = \left(\frac{100 - d_x}{100} \right) + \frac{FeO}{900} x; \quad B_1 = \left(\frac{100 - d_y}{100} \right) + \frac{FeO}{900} y; \quad C_1 = \left(\frac{100 - d_z}{100} \right) + \frac{FeO}{900} z; \quad (4)$$

$$D_1 = 100 + \frac{1}{9} FeO_{зад} - \left(\frac{100 - d_{M1}}{100} \right) M_1 - \left(\frac{100 - d_{M2}}{100} \right) M_2;$$

Структура предлагаемого комплекса автоматизации представлена на рис.1

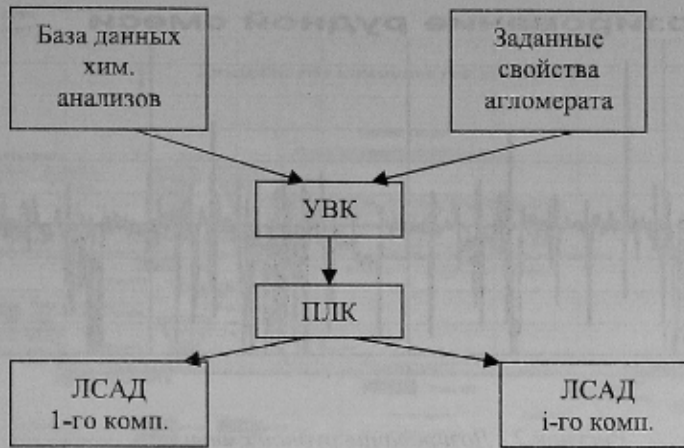


Рисунок 1 - Структурная схема системы автоматического дозирования.

Каждый компонент шихты имеет свой определенный химический состав, то есть процентное содержание необходимых элементов (их конечные значения). Поэтому, при расчете шихты, для заданных в ней элементов (Fe, S, ...) по заданным химическим составам исходных компонентов необходимо найти массовую долю каждого компонента, который обеспечивал заданный химический состав шихты при заданном количестве. Для каждого химического элемента шихты составляются линейные алгебраические уравнения, основными элементами которых является доля L_i и масса m_i элемента в компоненте. Причем, сумма всех долей, по формуле $\sum_i^n L_i = 1$.

Обозначим через β_{ij} - процентное содержание j -го элемента в i -том компоненте.
 j -тый элемент (Fe, S, Ca, ...), i -тый компонент (номер компонента - для руды, кокса, ...).

Таким образом, можем записать систему уравнений в следующем виде в соответствии с формулами (5)-(8):

$$V_{1 \text{ в шихте}}^{Fe} = L_1 \beta_{11} + L_2 \beta_{21} + L_3 \beta_{31} + L_4 \beta_{41} + \dots \quad (5)$$

$$V_{2 \text{ в шихте}}^S = L_1 \beta_{12} + L_2 \beta_{22} + L_3 \beta_{32} + L_4 \beta_{42} + \dots \quad (6)$$

$$V_{3 \text{ в шихте}}^{Si} = L_1 \beta_{13} + L_2 \beta_{23} + L_3 \beta_{33} + L_4 \beta_{43} + \dots \quad (7)$$

$$V_{7 \text{ в шихте}}^P = L_1 \beta_{17} + L_2 \beta_{27} + L_3 \beta_{37} + \dots + L_7 \beta_{77}, \quad (8)$$

где $V_k^{\text{элемент}}$ - заданное содержание k -го элемента в шихте.

В результате решения данной системы уравнений находим значения L_1 и L_7 . Далее при заданном значении массы шихты $M_{\text{ш}}$ для локальных систем автоматизации на каждом бункере задаем значения массы отдельно взятого компонента M_1, \dots, M_7 , где масса каждого компонента рассчитывается по формуле:

$$M_i = L_i * M_{\text{ш}}$$

В системе автоматического дозирования по труднодозуемому компоненту, разрабатываемой в ходе исследований, рассматриваемых в данной статье используется алгоритм, при котором все массовые доли компонентов L_i пересчитываются через $L_{\text{ТДК}}$ трудно дозируемого компонента, таким образом получаются новые массовые доли компонентов L_i пересчитанные относительно $L_{\text{ТДК}}$ трудно дозируемого компонента, по формуле (8):

$$L_i^* = \frac{L_i}{L_{\text{ТДК}}} \quad (9)$$

В каждый контур дозирования компонентов подается информация про массу трудно дозируемого компонента, тогда масса i -го компонента рассчитывается по формуле (10):

$$M_i = L_i^* * M_{\text{ТДК}} = \frac{L_i}{L_{\text{ТДК}}} * L_{\text{ТДК}} * M_{\text{ш}}^{\text{ЗДН}} = L_i * M_{\text{ш}}^{\text{ЗДН}} \quad (10)$$

На рис.2. представлена диаграмма расхода рудной смеси, характеризующая процесс подготовки шихтовых материалов.



Рисунок 2 - Дозирование рудной смеси

Реализацию программного комплекса решения поставленных задач можно представить в виде блок – схемы на рис.3

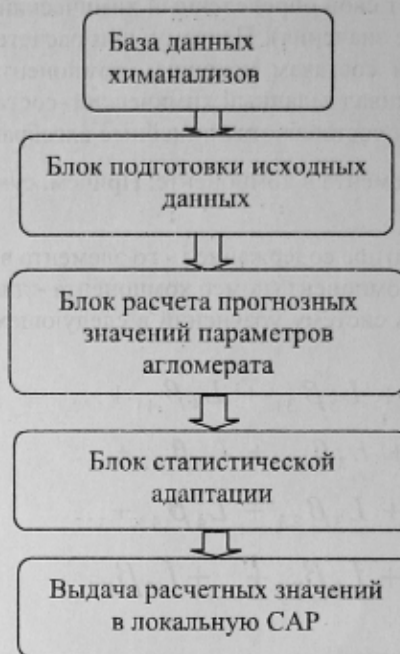


Рисунок 3 - Блок – схема построения системы управления комплексом подготовки шихты

Структура системы управления качеством агломерата включает блок подготовки исходных данных, блок расчета и прогнозирования. Базовым расчетным блоком системы является балансовая модель расчета шихты, основанная на системе из трех уравнений материального, теплового баланса и баланса основности, а также уравнения зависимости основности агломерата от расхода флюса в шихту. Решение системы уравнений материального баланса, баланса основности, теплового баланса позволит определить расходы железорудных материалов, флюса и твердого топлива для получения агломерата заданного состава. Разработанная модель позволит управлять содержанием углерода в шихте при ее дозировании с целью достижения заданного содержания FeO в агломерате. На верхнем уровне управления процессом модель позволит также распознавать причины отклонения свойств агломерата от заданных, в частности, несоответствие результатов химического анализа компонентов шихты фактическим значениям или отклонения фактических расходов компонентов шихты от заданных. Блок подготовки исходных данных для расчета прогноза качества агломерата включает оценку временных смещений в технологическом тракте и в процессе опробования для определения реальной зависимости между качеством шихтовых материалов и качеством агломерата.

Дозирование компонентов аглошихты

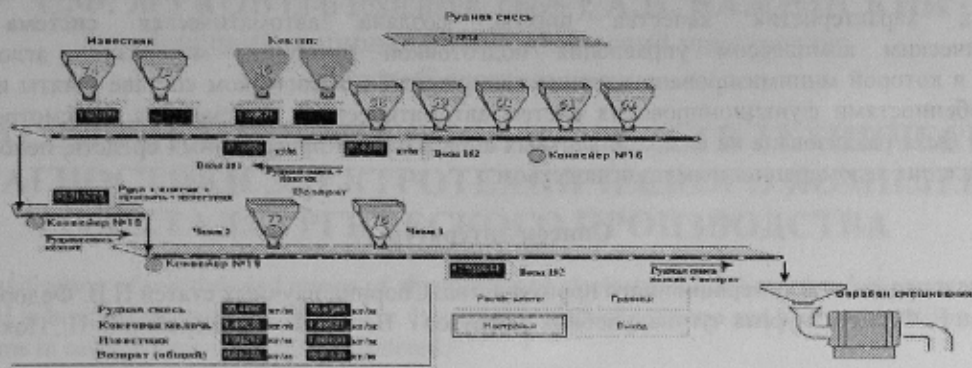


Рисунок 4 - Интерфейс мнемосхемы шихтового отделения

Разработанный алгоритм реализован с использованием возможностей программного пакета системы визуализации Wonderware InTouch 8.0. Для начала процесса необходимо просчитать массовые доли компонентов аглошихты (рис.5)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОМПОНЕНТОВ

КОМПОНЕНТ/СМЕСЬ	Fe	CaO	SiO ₂	MnO	MgO	SiO ₂	B	Al ₂ O ₃	CaF ₂
Рудная смесь	10.6200	0.0000	0.0000	12.3000	0.0000	10.6000	0.5300	3.3700	0.4000
Звёстняк	84.6700	10.0100	1.1000	19.0400	0.2100	0.2800	1.2000	1.0900	3.1400
Коксовые мелочи	0.2900	2.5000	0.0500	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2100
Известняк	16.2200	8.9600	0.4800	2.7800	0.7300	7.8800	6.7400	0.0200	8.9400
Доломит	0.0150	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000	0.0150	48.8100	0.3300	3.3500

Расчет массовых компонентов

Рудная смесь	6.2000	100%
Известняк	0.8500	13.71%
Известняк	58.6700	953.30%

Параметры агломерата

CaO/SiO₂ = 0.0000 %
 SiO₂/SiO₂ = 0.0000 %

Вход на увеличение

10.09 кг/т агломерата

Проверка выхода и изменности агломерата

Компоненты шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MnO	
	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
Рудная смесь	10.6200	0.5697	3.3700	0.1775	0.0000	0.0000	12.3000	0.0000
Звёстняк	0.2900	0.1507	1.0900	0.0517	1.1000	0.0234	19.0400	0.1190
Коксовые мелочи	0.0000	0.0000	0.0500	0.0003	0.0000	0.0007	0.0300	0.0022
Известняк	7.0000	0.0481	0.0200	0.0001	0.4800	0.0099	2.7800	0.0044
Доломит	0.0150	0.0092	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0116
Всего		0.7726		0.2393		0.0100		0.1371

Материальный баланс шихты

Параметры агломерата

SiO ₂	3.5
CaO	0
CaO/SiO ₂	33500
SiO ₂ /SiO ₂	20000
Al ₂ O ₃	25.0
CaF ₂	1.205
CaF ₂ /SiO ₂	10
CaF ₂	0.0626
SiO ₂	0
CaF ₂	0

Рисунок 5 - Видеокادر «Расчет шихты»

Химический состав шихты вводится в таблицу путем обращение к базе данных анализа шихты. Остаётся лишь выбрать хим. состав марки требуемого агломерата и нажать кнопку «Расчёт». После нажатия кнопки «Применить» начнётся процесс дозировки. Улучшение показателей работы доменного цеха в результате применения рассмотренной модели представлены в табл.1.

Таблица 1 - Влияние изменения качества агломерата на показатели работы доменного цеха

Взаиморасчеты с доменным цехом	ед.	план	факт	отклонение	отклонение тыс.грн. "+" - перерасход; "-" - экономия
	измерен				
- за содержание Fe в агломерате	%	54,09	51,8	-2,29	1,829,8
- за флюсующую способность агломерата	%	20	18,5	-1,5	-345,8
- за содержание мелочи в агломерате	тыс.тн.	163,1	169,3	6,2	-388,5
Итого по расчетам с доменным цехом					263,9

Проведенная разработка комплекса аппаратных и программных средств дает возможность реализации задачи повышения качества сырья для получения агломерата заданного качественного состава на базе применения в системах автоматического дозирования математических моделей качества агломерата. На основе полученных в результате исследований алгоритмов, являющихся результатом применения метода расчета статистических характеристик качества шихты, создана автоматическая система управления электромеханическим комплексом управления подготовкой шихтовых материалов агломерационного производства, в которой минимизировано влияние возмущений в химическом составе шихты и возмущений, вносимых особенностями функционирования систем автоматического дозирования. Рассмотренная система автоматизации была реализована на базе стандартных аппаратных и программных средств, использующихся в системах управления агломерационным производством.

Список литературы

1. Теория и практика агломерационного производства. Сборник научных статей Н.В. Федоровский.
2. Вегман Е. Ф. Металлургия чугуна, учебник для вузов / Вегман Е. Ф., Жеребин Б. Н., Похвиснев А. Н. – М., 2004г.
3. Астахов А.Г. Автоматизация агломерационного и доменного производства / Астахов А.Г. - Киев, Институт автоматики, 1969.

Надійшла до редколегії 11.05.2009

Рецензент: П.Х. Коцегуб

С.Ф. ЖУКОВ, А.И. ВАЖИНСКИЙ

Донецкий национальный технический университет

Разработка комплекса аппаратных и программных средств автоматического управления агломерационным производством. В статье излагается подход к решению основной задачи рассматриваемого объекта автоматизации – электротехнического комплекса системы управления подготовкой материалов металлургического процесса – подготовка сырья для производства агломерата с заданными соотношениями компонентов и с заданной производительностью. Предлагается комплекс аппаратных и программных средств, алгоритмические решения, позволяющие с достаточной точностью обеспечить получение агломерата заданного качества. *Аппаратные и программные средства, автоматическое управление, агломерационное производство*

С.Ф. ЖУКОВ, О.І. ВАЖИНСЬКИЙ

Донецький національний технічний університет

Розробка комплексу апаратних і програмних засобів автоматичного управління агломераційним виробництвом. У статті висловлюється підхід до рішення основної задачі даного об'єкту автоматизації – електротехнічного комплексу системи управління підготовкою матеріалів металургійного процесу – підготовка сировини для виробництва агломерату із заданими співвідношеннями компонентів і із заданою продуктивністю. Пропонується комплекс апаратних і програмних засобів, алгоритмічні рішення, що дозволяють з достатньою точністю забезпечити отримання агломерату заданої якості. *Апаратні і програмні засоби, автоматичне управління, агломераційне виробництво*